

韓半島內 主要 人工構造物의 適正 耐震設計震度

金 性 均*

Optimum Intensity for Seismic Design of Major Man-made Structures in Korea

Sung Kyun Kim

Abstract: Earthquake disaster is dependent upon both site intensity and strength of structures. The higher the strength, structures become more safe, which in turn increases the construction cost. Therefore, it is necessary to decide an optimum design intensity in which the safety is balanced with the cost. Such an optimum design intensity for major man-made structures in Korea is determined in the present study from a simulation model as follows.

- 1) Hypothetical earthquake time series are generated from the probability distribution to represent appropriately the seismicity of Korea.
- 2) The strength of structures constructed with a certain design intensity is assumed to exponentially decrease with the elapsed time. The construction cost is also expressed as a function of design intensity.
- 3) Comparing the seismic intensity generated from the earthquake time series with the strength of structures, the safety of structures is examined. Then the time until the structure is damaged by an earthquake is obtained within the designed life time.
- 4) The above simulation is iterated several hundred times and hence the mean life time of structures having a certain design intensity is obtained.
- 5) After all, the optimum design intensity to minimize the annual mean loss, the ratio of construction cost to mean life time, is estimated.

The major conclusions obtained from the above simulation model are as follows.

- 1) Depending upon the designed life time (T_p), the optimum design intensities are appeared to be 0.05-0.10g for $T_p=50\text{yr}$ and 0.08-0.13g for $T_p=100\text{yr}$.
- 2) According to the sensitivity analysis, the optimum design intensity increases with the rapid strength decrease of structure and decreases with the increase of initial construction cost.

序 言

고도의 耐震性이 요구되는 주요 인공구조물에 대한 耐震設計震度の 증가는 일반적으로 건설비를 높이며 設計를 어렵게 한다. 따라서 이러한 경제성과 地震에 대한 안전성이 조화될 수 있는 設計震度の 결정이 필요하다. 국내 원자력발전소의 경우는 耐震設計震도로서 0.2~0.26g가 채택되어 있다(한국전력기술주식회사, 1984). 본 연구의 목적은 댐, 화학공장 및 고층건물과 같은 주요 인공구조물에 대한 적정 耐震設計震도를 地震

에 대한 안전성과 경제성이 동시에 고려되는 측면에서 산출하는 것이다.

그림 1에 적정 耐震設計震도를 산출하기 위한 simulation model을 도시하였으며, 적정 耐震設計震도의 산출 과정은 다음과 같다.

1) 韓半島의 역사지진 및 계기지진활동(MMI \geq 6)을 적절한 확률분포로 근사하여 가상적인 時系列을 작성하며(earthquake generator), 이때 어떤 시각 T 에 발생된 地震은 震央地震度(I_0) 및 震央距離(R)로써 표현된다.

2) 시각 T 에 발생한 地震이 거리에 따라 감쇠하여

* 韓國動力資源研究所

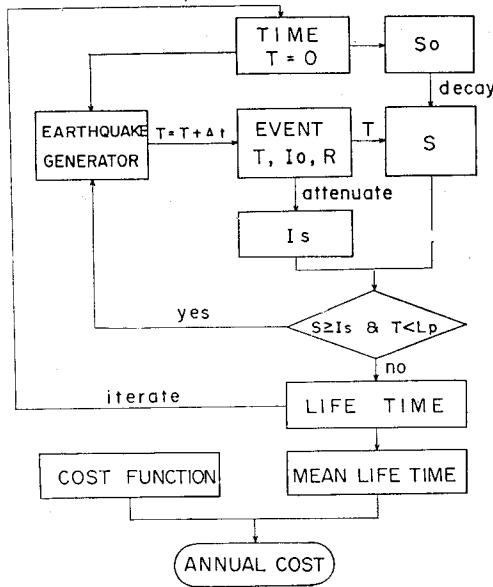


Fig. 1 Simulation model to obtain the optimum design intensity for artificial structures.

특정지역에 전파되었을 때의 震度(I_s)가 계산된다.

3) 한편 임의의 設計震度 S_0 로 건설된 구조물의 강도는 경과시간 t 에 따라 다음과 같이 지수함수적으로 감소한다고 가정한다(그림 2 참조).

$$S = S_0 \exp(-t/L) \quad (1)$$

여기서 S : t 시간 경과후의 구조물 강도

L : 구조물의 강도감쇠의 반감기

4) 구조물이 위치한 특정지역의 震度 I_s 와 t 시간후의 구조물의 강도 S 를 비교하여 구조물의 안전성여부가 결정되며, 이때 구조물의 계획수명(L_p)내에서 다음과 같이 地震에 의해 파괴될 때까지의 수명(life time)이 결정된다(그림 1, 2 참조).

$S \geq I_s$, and $T < L_p$: 구조물 안전(다음 지진발생)

$S < I_s$, or $T \geq L_p$: 구조물 파괴(구조물의 수명계산)

5) 위의 방법을 수백회 반복 실행하여 임의의 震度(MMI=4.0~8.0범위)로 設計된 구조물의 평균수명(mean life time)이 결정된다.

6) 결국 設計震度の 함수로 가정한 cost function으로 부터 계산한 건설비용을 평균수명으로 나누어 년간 평균손실비용(annual cost)이 계산되며, 손실비용이 최소가 되는 震度を 적정 設計震度值로 선택하게 된다.

본 연구에서 제안한 적정 耐震設計震度 산출모델은 Shimazu et al.(1970)과 그 방법론에 있어서 유사하나, 地震時系列 발생모델 및 초기건설비용함수에 있어서

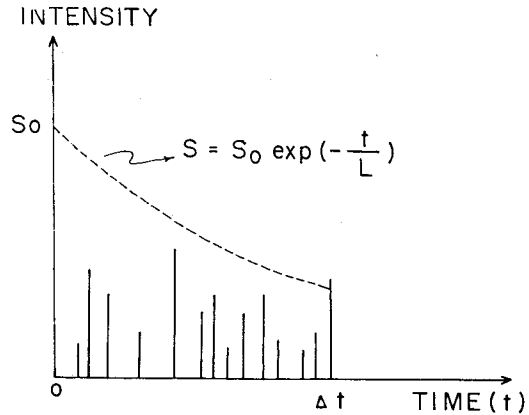


Fig. 2 Schematic illustration of the strength decay of structures and earthquake time series.

그 가정이 다르며 실제의 경우를 취급했다는 점에서 큰 차이가 있다. 이하에서는 모델 각 부분에 대한 설명과 모델의 운용에 관한 내용 및 simulation의 결과가 기술된다.

地震時系列 發生모델

韓半島의 地震活動을 적절한 확률분포로 나타내기 위해서는, 먼저 지진자료를 충분히 검토하지 않으면 안된다. 韓半島의 地震資料는 약 2천여년에 걸친 역사지진자료와 1905년 이래의 계기지진자료로 나눌 수 있다. 역사지진자료는 과거의 역사문헌속에 문장으로 기술된 서술적인 자료이며, 계기지진자료는 근대적인 계기에 의해 관측되어 그 地震要素가 결정된 자료이다. 韓國動力資源研究所(1983)는 역사문헌으로 부터 개개의 地震에 대한 발생일시, 震央地 및 震度を 결정하여 역사지진목록을, 또한 중앙기상대, 일본기상청 및 ISC(International Seismological Centre) 등의 자료를 종합하여 계기지진목록을 작성하였다. 이 지진목록 외에도 다른 연구에 의해 작성된 지진목록(한양대학교 환경과학연구소, 1979; Lee, K.H. et al., 1985)이 존재한다. 이러한 목록들의 차이는 역사지진의 震度평가와 震央地 결정에 있다. 본 연구에서는 韓國動力資源研究所(1983)의 지진목록을 사용하기로 한다.

韓半島의 地震活動을 시대별로 검토하여 보면, 역사지진의 경우 고려시대 이전(~AD1392)의 震央地는 당시의 정치, 문화의 중심지였던 수도에 집중된다. 이것은 고대일수록 震央地에 불확실을 더 내포하고 있음을 의미하며, 震央地가 전국적으로 분산되어 나타나는 것은 조선건국 이후(AD1392~)이다. 이러한 震央地의 불확실 이외에도 震도가 낮은 地震에 대한 누락의 가

Table 1 Major earthquakes (MMI≥6) in the Korean Peninsula.

No.	Year	Month	Latitude	Longitude	Intensity
1	27	10	37.40	127.26	7
2	34	2	35.84	129.23	8
3	89	6	37.40	127.26	8
4	100	10	35.84	129.23	8
5	304	8	35.84	129.23	8
6	304	9	35.84	129.23	8
7	458	2	35.84	129.23	8
8	471	3	35.84	129.23	8
9	502	10	39.01	125.75	8
10	510	5	35.84	129.23	8
11	664	9	35.84	129.23	7
12	768	6	35.84	129.23	6
13	779	3	35.84	129.23	8
14	1036	7	37.96	126.54	7
15	1226	11	37.96	126.54	7
16	1260	6	37.96	126.54	7
17	1385	8	37.96	126.54	7
18	1409	7	37.57	126.99	8
19	1416	5	36.55	128.72	7
20	1455	1	35.40	127.38	8
21	1518	7	37.90	126.20	8
22	1519	11	37.36	128.39	6
23	1529	11	36.19	127.10	6
24	1546	6	38.20	128.40	7
25	1555	3	36.08	128.57	6
26	1564	3	40.96	126.58	6
27	1594	7	36.59	126.66	6
28	1597	10	40.20	127.60	6
29	1601	3	35.91	128.29	6
30	1601	3	35.91	128.29	6
31	1604	3	41.00	126.00	6
32	1604	12	37.60	126.40	6
33	1613	7	37.57	126.99	7
34	1643	6	35.16	128.10	8
35	1643	7	35.95	128.93	8
36	1660	2	36.21	127.42	6
37	1662	4	36.41	128.16	6
38	1668	7	39.76	124.71	8
39	1669	10	39.01	125.75	6
40	1670	10	35.16	126.91	7
41	1681	6	36.46	127.12	6
42	1681	6	37.57	126.99	7
43	1681	6	37.44	128.96	8
44	1682	3	36.82	129.37	7
45	1692	11	36.79	127.81	6

46	1700	4	35.88	128.57	8
47	1727	6	39.91	127.52	7
48	1757	7	36.70	126.68	8
49	1760	8	36.23	128.30	8
50	1936	7	35.30	127.60	7
51	1952	3	38.50	126.50	6
52	1978	10	36.62	126.67	8
53	1981	4	35.90	130.10	6

능성도 또한 배제할 수 없다. 계기지진의 경우도 역시 震央地의 결정오차(金性均, 1986)와 작은 규모地震의 부분적인 누락을 인정할 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 구조물에 부분적인 災害가 나타나기 시작하는 MM震度 6이상의 地震만을 추출하여 (표 1 및 그림 3), 이러한 地震의 발생을 적당한 확률분포로 근사한다.

먼저 韓半島에서 발생한 주요지진(MM震度 6이상)이 어떤 주기성을 갖고 있는가에 대하여 검토하기로 하자. 어떤 지역내에서 발생한 어떤 크기 이상의 地震의 시간적 분포를 알기 위해서는, 각 地震을 시간축상의 1점으로 보아 하나의 點過程(point process)으로 취급할 수 있다. 어떤 기간동안에 n 개의 地震이 t_1, t_2, \dots, t_n 라는 시각에 발생하였다면, 地震發生에 관한 時系列

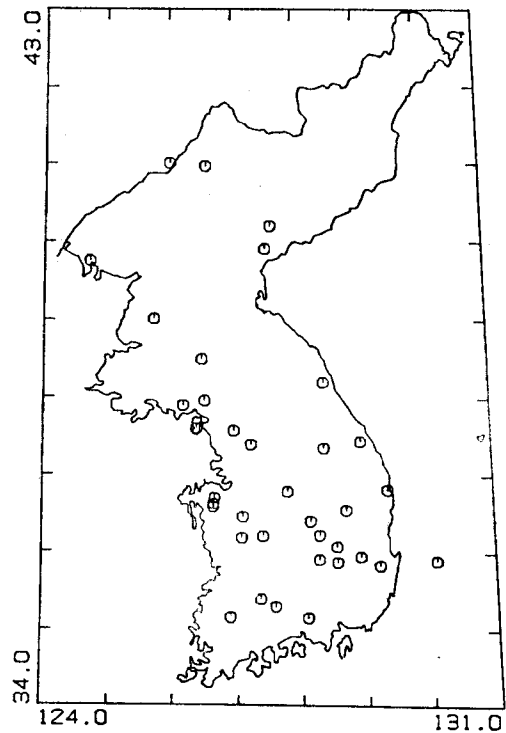


Fig. 3 Epicenters of major earthquakes (MMI≥6).

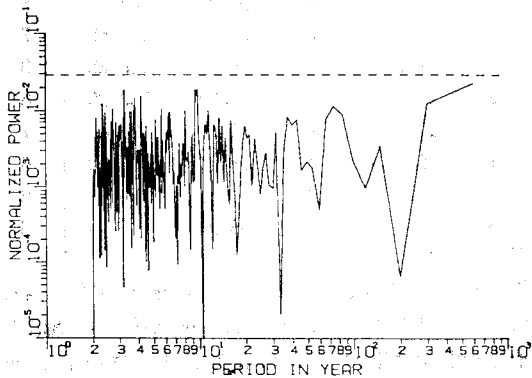


Fig. 4 Normalized power spectra for the major earthquake time series. The broken line indicates a value at significant level=0.05 for the normalized power of the leading component.

을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f(t)=1; t=t_1, t_2, \dots, t_n$$

$$f(t)=0; t \neq t_1, t_2, \dots, t_n \quad (2)$$

이러한 時系列의 power spectra를 계산함으로써 주기성을 검증할 수 있다.

위의 방법으로 MMI≥6의 地震에 대하여 계산한 power spectra는 T=594, 10, 3yr에서 spectra의 peak를 나타낸다(그림 4). 그러나 어떤 주기에서 peak가 나타난다고 하여 그 주기에 대한 주기성이 존재한다고 볼 수는 없다. Shimsoni(1971)는 時系列分析으로 얻어진 power spectra에 나타나는 peak가 확률적으로 의미가 있는가를 검증하는 Fisher의 방법을 소개하였다. 위에서 얻어진 주기는 이 방법으로 검정할 때 확률적으로 전혀 의미가 없는 것으로 나타난다. 또한 MMI≥8의 地震에 대한 결과도 어떤 특정주파수의 주기성을 나타내지 않는다. 이것은 韓半島內에서 비교적 큰 災害를 가져온 地震發生의 주기성이 실제로 존재하지 않음을 의미할런지 모른다.

Hagiwara(1974)는 大地震의 시간적분포가 Weibull 분포에 잘 일치한다는 사실을 지적하였다. Weibull 분포는 원래 제품의 고장해석에 이용되는 확률분포로서, 시간 $t \sim t + \Delta t$ 에 地震이 발생할 확률 $\lambda(t)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda(t) = Kt^m \quad (K > 0, m > -1) \quad (3)$$

단, K, m은 상수

한편 0~t시간내에 地震이 발생할 누적확률은

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] = 1 - \exp\left(-\frac{Kt^{m+1}}{m+1}\right) \quad (4)$$

로 나타낼 수 있으며, 平均再來週期 E(t)와 그 표준편

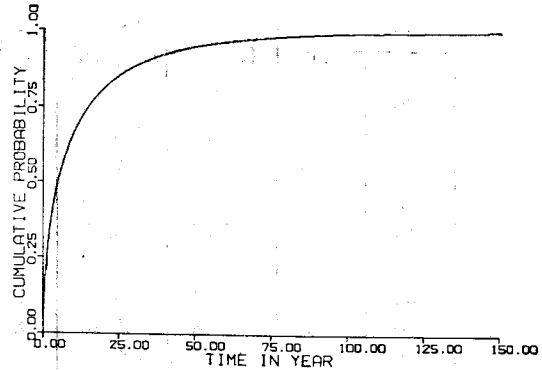


Fig. 5 Cumulative probability distribution with time of the major earthquakes occurring in the Korean Peninsula.

차 S는 다음 식으로 주어진다(Hagiwara, 1974).

$$E(t) = \left(\frac{K}{m+1}\right)^{-1/(m+1)} \Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \quad (5)$$

$$S = E(t) \left[\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \right]^{1/2} / \Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \quad (6)$$

단, Γ : Gamma Function

韓半島內에서 조선시대이래 발생한 MMI≥6의 地震을 Weibull분포로 근사할 수 있는가를 검토하기 위해서, 식 (4)에 포함된 변수 m과 K를 地震時系列에 맞도록 최소자승법으로 결정하였다. 여기서 지진발생빈도는 $\Delta t=10yr$ 단위로 끊어 계산하였으며, 식 (4)의 변수에 대하여 $m=-0.388$, $K=0.162$ 가 얻어졌다. 이와같이 결정된 이론분포(그림 5)와 실제의 분포에 대한 χ^2 검정 결과 유의수준이 99% 이상인 것으로 나타난다. 따라서 韓半島內의 MMI≥6의 地震發生은 Weibull분포로 근사할 수 있음을 알 수 있으며, 식 (5) 및 (6)으로부터 계산한 發生平均再來週期 및 그 표준편차는 각각 $E(t)=12.9yr$, $S=22.1yr$ 가 된다.

위의 결과를 참조하여, 地震時系列 발생모델을 다음과 같이 상정한다.

1) 한 地震發生후 다음 地震이 발생할 때 까지의 시간간격은 random number를 발생시켜 그림 5의 이론분포에 따르도록 확률적으로 결정한다.

2) 발생한 地震의 震度は 조선시대이래 발생한 MMI=6~8의 비율에 맞도록 확률적으로 결정한다.

距離에 따른 震度の 減衰

전장에서 기술한 地震時系列 발생모델에 의해 발생 시각 및 震央地의 震度が 결정될때, 震央地와 구조물이 위치한 지역까지의 거리를 결정하는 방법에 대하여 먼저 설명하기로 하자. 韓半島의 地震資料는 약 120,000

Table 2 Intensity attenuation data.

Name	Date	Coordinates	M_L	Depth (km)	I_{JMA}	I_{MM}	Radius(km)	Data source
Uljin	82. 2. 28	129. 8 37. 2	5. 0	<10	$I_0=V$	7. 5	10	CMO Newspaper
					IV	6	60	
					III	5	175	
					II	4	225	
					I	2	275	
Hongsung	78. 10. 7	126. 7 36. 6	5. 0	<10	$I_0=V$	7. 5	5	CMO Newspaper
					IV	6	30	
					III	—	—	
					II	4	90	
					I	2	170	
Chirisan	36. 7. 4	127. 9 35. 2	5. 0	~10	$I_0=V$	7. 5	10	Hayata (1940) KIER (1983)
					IV	—	—	
					III	5	70	
					II	4	145	
					I	2	220	

km²의 면적에 대한 것이며, 이것은 반경 약 200km의 원의 면적에 해당된다. 여기서 韓半島 육상 및 인접지역에서의 地震活動이 균일하다고 가정한다면, 地震發生모델에 의해 발생된 地震의 震央이 반경 200km의 원의 중심에 있을때 재해를 받는 구조물의 위치는 원 내의 임의의 지점으로 볼 수 있다. 따라서 震央地와 구조물과의 거리가 $r \sim r + \Delta r$ (km)일 확률은 다음 식으로 표현된다.

$$P(r) = [(r + \Delta r)^2 - r^2] / 200^2 \quad (7)$$

결국 식 (7)에 의해 확률적으로 거리 r 을 결정하게 된다.

다음으로 거리에 따른 震度の 감쇠에 대하여 생각하기로 하자. 거리에 따른 震度の 감쇠는 地震波의 경로 및 지하 구성물질의 物性에 따라 달라진다. 韓半島內에는 強震記錄이 거의 없으며, 震度감쇠는 지역성이 커서 다른 지역에서 얻어진 식을 그대로 韓半島에 적용할 수 없다는 점때문에 적절한 震度감쇠식을 결정하는 것은 쉽지 않다. 표 2에 韓半島의 主要地震에 대한 等震度圖 및 記事로부터 추출한 震度감쇠자료를 제시하였으며, 이 자료를 이용하여 震度감쇠식을 결정하였다. 여기서 자료의 질을 고려하여 震度감쇠를 다음과 같은 형태의 식으로 가정하여 그 상수를 계산한다.

$$I_s = C_1 + I_0 - C_2 R - C_3 I_n R \quad (8)$$

- 여기서 I_s : 부지에서의 진도
- I_0 : 진앙지의 진도
- R : 진앙거리
- C_i : 상수

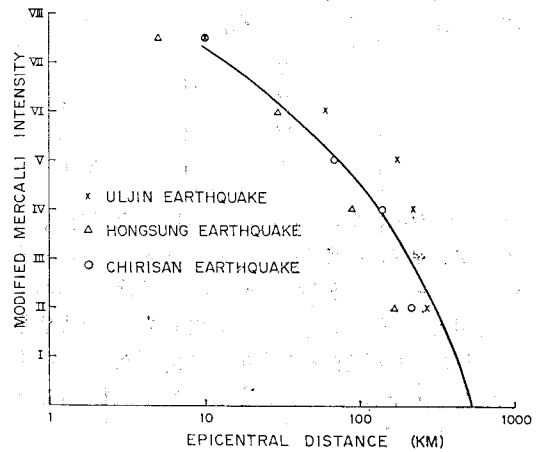


Fig. 6 Intensity attenuation with distance.

윗식에 포함된 상수를 표 2의 자료에 맞도록 결정하여 다음과 같은 경험식을 (그림 6) 얻었다.

$$I_s = I_0, \quad R \leq 5 \text{ km}$$

$$I_s = 1.89 + I_0 - 0.0078R - 0.89I_n R, \quad R > 5 \text{ km} \quad (9)$$

이 震度감쇠식은 북미지역에서 얻어진 다른 경험식(LLNL, 1983)에 비하여 震度감쇠가 지극히 빠르며, 韓半島의 자료를 이용한 Lee, K.H.(1984)에 비하여 근거리에서의 감쇠가 느린 편이다. 결국 윗 식에 의하여 地震發生모델에 의해 발생한 地震이 거리 R 인 구조물이 위치한 곳에 전달되었을 때의 震度が 결정된다.

構造物の強度減衰 및 建設費用

초기에 특정의 設計震度로 건설된 구조물의 시간경과에 따른 강도의 감쇠는 구조물의 재료, 설계 및 시공방법등의 복합적 요인과 관련된다. 본 연구에서는 구조물의 강도(S)가 다음 식과 같이 시간경과에 따라 지수함수적으로 감쇠된다고 가정한다.

$$S = S_0 \exp(-t/L) \tag{10}$$

여기서 S_0 : 건설초기의 설계진도

t : 건설후 경과시간

L : 강도감쇠의 반감기

윗 식에서 강도감쇠의 반감기는 위에서 지적한 모든 강도감쇠에 관련된 요인들을 포함한다고 가정하며, 반감기 L 을 simulation parameter로서 채택한다. 즉 $L=150, 200, 300, 400yr$ 인 경우에 대하여 최적 耐震設計震度を 계산한다.

Table 3 Cost increment of seismic design for UBC zones (calculated from Whitman and Cordell, 1976).

UBC Zone	MM Intensity	Cost increase
0	IV	0
1	V	5%
2	VI	10%
3	VII	20%

耐震設計震度の 증가에 따른 건설비의 증가는 구조물의 종류, 형식, 설계방법, 특히 설계자의 판단과 경험에 따라 크게 달라진다(Liu and Neghabat, 1972). 본 연구에서 대상으로 하는 댐, 화학공장 및 고층건물은 그 종류와 형태 및 설계양식이 다양하여 건설비를 設計震度の 함수로 간단히 표현하기 어려우며, 이러한 종류의 연구는 거의 이루어 지지 않은 실정이다. 여기서는 문제를 좀 더 단순화하기 위하여, 구조물의 형태 및 양식이 표준화되어 있는 미국의 UBC(Uniform Building Code) zone에 대한 Whitman and Cordell (1976)의 건설비용 분석결과를 참조하기로 한다. 표 3에 제시한 바와같이, UBC zone은 0~3까지 4개의 zone으로 나누어져 있으며, 이에 대응하는 MM震度は IV~VII로 되어 있다. 또한 이러한 震度증가에 따른 구조부분 건설비용의 증가는 MMI=IV를 임계진도(내풍 및 구조물의 안정을 위하여 필요한 최소의 진도)로 하여 zone=1, 2, 3에 대해 각각 5, 10, 20% 가량 증가한다. 이 결과에 따라, 구조물의 耐震設計에 따른 비용 C를 다음과 같이 設計震度 I의 2차함수로 가정한다.

$$C = Af_c [1 + k(I - I_c)^2] \tag{11}$$

여기서 A : 구조물의 면적

f_c : 단위면적당 구조부분 건설비용

I_c : 임계진도(MMI=IV)

k : 비례상수

위에서 비례상수 k 는 Whitman and Cordell (1976)의 결과를 참조할 때 0.0125가 되며, 다음 장에서의 simulation에서는 상수 k 가 0.0250(이때는 MMI=VIII에서의 비용증가가 40%가 됨)인 경우에 대해서도 고려하게 된다.

Simulation 結果

식 (10)에 포함된 구조물의 강도감쇠의 반감기 L 을 simulation parameter($L=150, 200, 300, 400yr$)로 채택하여, 3가지 경우(표 4참조)에 대하여 계산을 진행하였다. 각각의 경우에 구조물의 계획수명은 50년(Case A 및 B) 또는 100년(Case C)으로, MMI=VIII에서의 구조부분 건설비용의 증가는 20%(Case A 및 C) 또는 그 두배인 40%(Case B)로 상정하였다. 이와 같은 3가지 경우에 대한 출력결과를 각각 그림 7, 8, 9에 도시하였으며, 결국 연간 손실비용을 최소로 하는 震度を 적정 耐震設計震度로 채택하게 된다.

Table 4 Simulation parameters in CASE A, B, and C.

CASE	life time	cost increase in MMI=VIII
A	50 year	20%
B	50 year	40%
C	100 year	20%

여기서 적정 耐震設計震度を 중력가속도에 대한 비(g 값)로서 나타내기 위해서는 MM震度—加速度的 관계에 대한 전환식을 필요로 한다. 이러한 震度→加速度 전환에 관한 경험식은 다수가 제안되어 있다(예를 들면, Gutenberg and Richter, 1956; Coulter et al., 1973; Trifunac and Brady, 1975; Murphy and O'Brien, 1977). 본 연구에서는 입력자료의 질과 양 및 震度—加速度的 상관을 충분히 검토하여, 다음과 같은 Murphy and O'Brien(1977)의 경험식을 사용하기로 한다.

$$\log a = 0.25MMI + 0.25 \tag{12}$$

여기서 a : 가속도(cm/sec²)

MMI: MM 진도

물론 MM震度は 연속적인 物理量은 아니지만 震度—加速度的 관계를 고려하여 여기서는 연속적인 量으로 가정하였다.

그림 7, 8, 9에서 손실비용을 최소로 하는 극소점은

뚜렷하게 나타나지 않지만, 대체로 다음과 같은 양상을 보여준다. 즉 구조물의 계획수명 50년, MMI=Ⅷ에서의 건설비용증가를 20%로 상정한 Case A의 경우(그림 7)는 적정 設計震도가 6.3~6.8(0.07~0.10g)의 범위로 나타나며, 구조물의 강도감쇠에 대한 민감도가 길수록 적정 設計震도는 감소하는 경향을 가진다. Case A에 비하여 최초 건설비용이 2배인 Case B의 경우(그림 8)는 적정 設計震도가 Case A에 비하여 약간

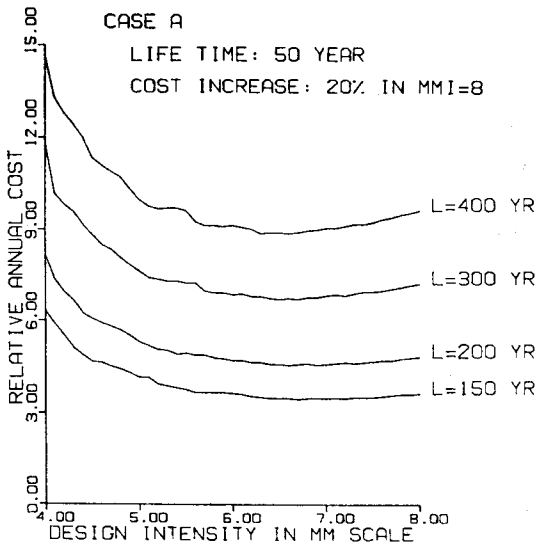


Fig. 7 Relation between relative annual cost and aseismic design intensity in CASE A.

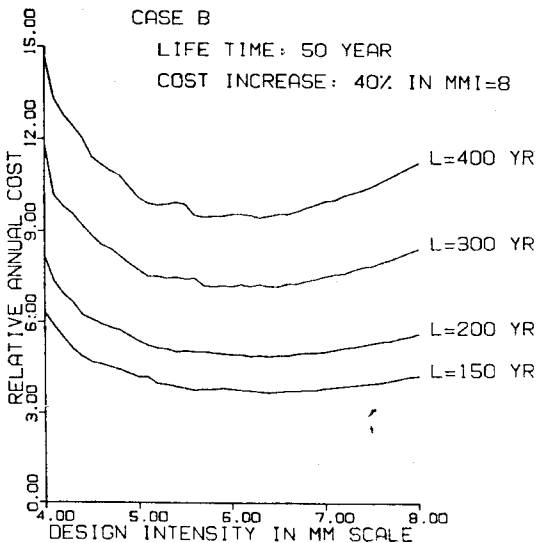


Fig. 8 Relation between relative annual cost and aseismic design intensity in CASE B.

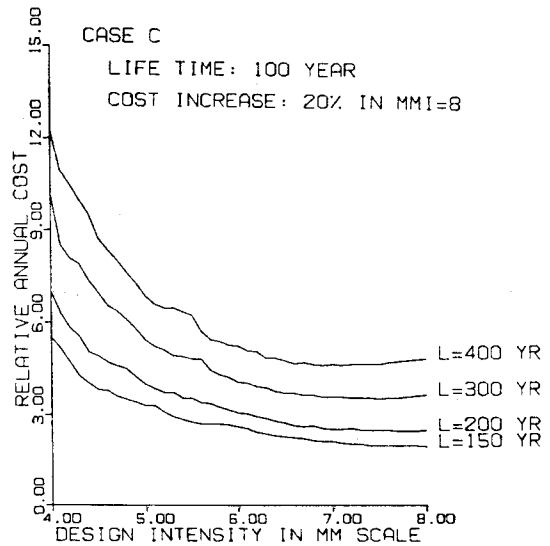


Fig. 9 Relation between relative annual cost and aseismic design intensity in CASE C.

감소하여, 대략 5.8~6.3(0.05~0.07g)의 범위로 나타난다. 또한 구조물의 계획수명 100년, MMI=Ⅷ에서의 건설비용증가를 20%로 상정한 Case C의 경우(그림 9)는 극소점이 뚜렷하지 않으나, 대체로 震度 6.7~7.4(0.08~0.13g)가 적정 設計震도임을 보여준다. 이것은 구조물의 계획수명이 길수록 耐震設計震도를 높여야됨을 의미한다.

결론적으로 구조물의 적정 耐震設計震도는 구조물의 계획수명이 길수록 증가하며, 이것은 장기간 보존을 요하는 구조물일수록 耐震設計를 강화해야 함을 나타낸다. 한편 감도분석 결과에 의하면, 구조물의 시간에 따른 강도감쇠가 클수록 耐震設計震도는 증가하며, 초기 건설비용이 증가될때 耐震設計震도는 감소한다.

結論 및 提言

地震災害는 부지의 震도와 구조물의 強度에 따라 달라진다. 즉 구조물의 強度가 커질수록 地震에 대한 안전성은 증가하지만, 반면에 건설비용을 증가시키게 된다. 따라서 이러한 안전성과 경제성이 조화될 수 있는 設計震도의 결정이 필요하다. 본 연구에서는 댐, 화학공장 및 고층건물등의 주요 인공구조물에 대한 적정 耐震設計震도值를 다음과 같은 simulation model로 부터 산출하였다.

- 1) 韓半島의 地震活動(MMI≥6)을 적절한 확률분포로 근사하여 가상적인 地震時系列을 작성한다.
- 2) 임의의 設計震도로 건설된 구조물의 強度는 경과

시간에 따라 지수함수적으로 감소한다고 가정하며, 또한 건설비용을 設計震度の 함수로 나타낸다.

3) 地震時系列로 부터 얻어진 震度와 감소된 구조물의 強度를 비교하여 구조물의 안전성여부가 결정되며, 이때 구조물의 계획수명내에서 地震에 의하여 파괴될 때까지의 수명이 결정된다.

4) 위의 방법을 수백회 반복실행하여 임의의 震度로 設計된 구조물의 평균수명이 결정된다.

5) 결국 구조물의 평균수명에 대한 건설 비용의 비로 나타나는 년간 평균손실을 최소로 하는 震度を 最適設計震度로 선택하게 된다.

이상과 같은 모델로 부터 얻어진 결론은 다음과 같다

1) 구조물의 계획수명(T_p)에 따라 적정 耐震設計值(I_d)는 다음과 같은 범위의 값을 갖는다.

$$T_p=50\text{yr} : I_d=0.05\sim 0.10g$$

$$T_p=100\text{yr} : I_d=0.08\sim 0.13g$$

2) 감도분석결과에 의하면, 구조물의 시간에 따른 強度감소가 빠를수록 I_d 는 증가하며, 초기 건설비용이 증가될 때는 I_d 는 감소한다.

위의 결과는 韓半島의 평균적인 地震活動과 평균적인 地盤에 대하여, 확률적으로 얻어진 것이므로 일률적인 적용에는 문제가 있으며, 지역적인 地震活動의 差, 地盤種別 및 구조물의 重要도에 따른 보정이 필요하리라 생각된다. 특히 地震災害에 의한 파급효과가 큰 원자력 발전소와 같은 구조물에 직접 적용은 곤란하다.

參 考 文 獻

- 金性均(1986) 1985년 6월에 발생한 대구 및 인천지진의 震央再決定 및 계기지진자료의 精度. 지구과학회지, v. 7, p. 81-86.
- 韓國動力資源研究所(1983) 韓半島의 地震危險圖. pp. 295.
- 한국전력기술주식회사(1984) 표준원자력발전소 설계에 관한 연구. App. I-2, KOPEC/RR-01/84.
- 한양대학교 환경과학연구소 (1979) 홍성지진의 현황조사 연구. pp. 321.
- Coulter, H.W., H.H. Waldron, and J.F. Devine (1973) Seismic and geologic siting considerations for nuclear facilities. Proc. World Conf. Earthq. Eng., 5th, Rome. Italy.
- Gutenberg, B. and C.F. Richter (1956) Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. Bull. Seis. Soc. Am., v. 46, p. 105-145.
- Hagiwara, Y. (1974) Probability of earthquake occurrence as obtained from Weibull distribution analysis of crustal strain. Tectonophysics, v. 23, p. 313-318.
- Hayata, K. (1940) Report of Ssangyesa Strong Earthquake of Southern foot of Mt. Chiri. Bull. Meteorological Observatory of Government General of Korea, v. 1, p. 145-157 (in Japanese).
- Lee, K.H. (1984) A study on intensity attenuation in the Korean Peninsula. Journ. Geol. Soc. Korea, v. 20, p. 140-146.
- Lee, K.H., M.S. Lee, B.D. Kwon, and W.S. Yang (1985) Studies on the seismic risk of the Korean Peninsula (I). Journ. Geol. Soc. Korea, v. 21, p. 227-240.
- Liu, C.S. and F. Neghabat (1972) A cost optimization model for seismic design of structures. Bell system Tech. Journ., v. 51, p. 2209-2225.
- LLNL (1983) Development of Eastern U.S. ground motion models. Lawrence Livermore National Laboratory, California, U.S.A.
- Murphy, J.R. and L.J. O'Brien (1977) The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. Bull. Seis. Soc. Am., v. 67, p. 877-915.
- Shimazu, Y., K. Sugiyama, and K. Hiraga (1970) Strategy for minimization of loss due to earthquake disaster. Zisin (Journ. Seis. Soc. Japan), v. 23, p. 134-141 (in Japanese).
- Shimoni, M. (1971) On the Fisher's test of significance in harmonic analysis. Geophys. J.R. astr. Soc., v. 23, p. 373-377.
- Trifunac, M.D. and A.G. Brady (1975) On the correlation of seismic intensity scales with peaks of recorded strong ground motion. Bull. Seis. Soc. Am., v. 65, p. 139-162.
- Whitman, R.V. and C.A. Cordell (1976) Design in the seismic risk and engineering decisions. In: (ed.) C. Lomnitz and E. Rosenblueth, New York, U.S.A.